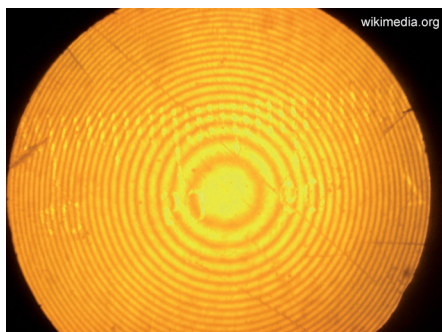


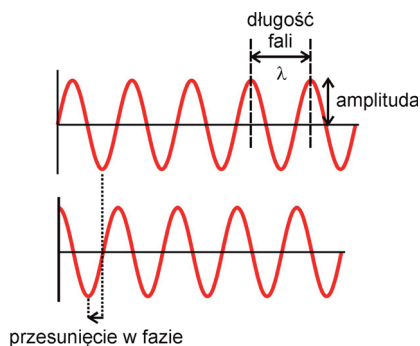
Pierścienie Newtona

Pierścienie Newtona to zjawisko optyczne, które obserwuje się w przypadku, gdy światło przechodzi przez cienką warstwę pomiędzy płaską i wypukłą powierzchnią. Takie warunki można otrzymać umieszczając w powietrzu lub w wodzie wypukłą soczewkę szklaną na płaskiej szklanej płytce. Oświetlając taki układ prostopadłe z góry lub z dołu, można zaobserwować obraz w kształcie ciemnych i jasnych pierścieni. Zjawisko to zostało nazwane na cześć Newtona, który jako pierwszy dokładnie je opisał.

Aby zrozumieć mechanizm powstawania pierścieni Newtona, trzeba przyjrzeć się uważnie własnościom fal świetlnych, a w szczególności zjawisku interferencji światła. Fale świetlne można scharakteryzować podając ich parametry, takie jak częstotliwość, długość fali w danym ośrodku, amplitudę oraz fazę.

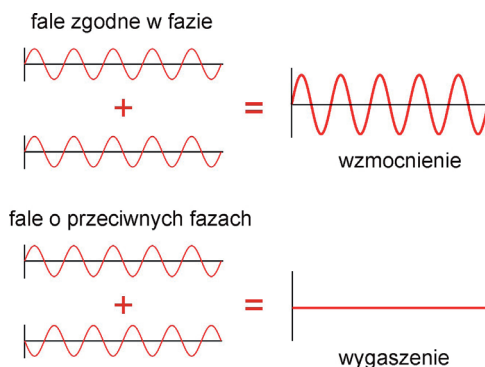


Rys. 1. Pierścienie Newtona



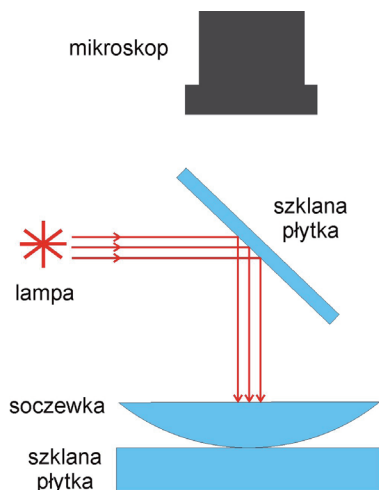
Rys. 2. Parametry fali świetlnej i przesunięcie w fazie

Zjawisko interferencji światła polega na nakładaniu się fal świetlnych o tej samej częstotliwości i amplitudzie, pomiędzy którymi różnica faz nie zmienia się w czasie. Fale takie określa się jako *spójne*. Jeśli w danym punkcie przestrzeni spotkają się grzbiety dwóch spójnych fal świetlnych, to mówi się, że fale te są zgodne w fazie. W wyniku ich nakładania następuje wzmocnienie, czyli wzrost intensywności światła. Jeśli natomiast grzbiet jednej z fal napotka dolinę drugiej (fale o przeciwnych fazach), dochodzi do wygaszenia, co oznacza brak światła w danym punkcie. Jeśli fale nie są ani zgodne, ani przeciwnie w fazie, ich nakładanie się powoduje częściowe osłabienie lub wzmocnienie fali.



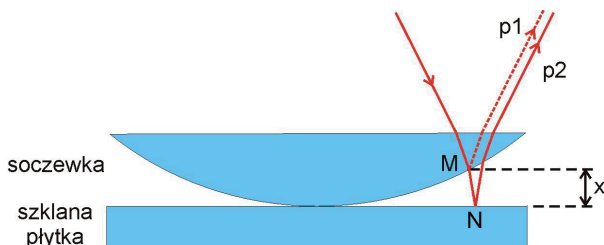
Rys. 3. Interferencja fal zgodnych i przeciwnych w fazie

Najprostszy układ pozwalający zaobserwować pierścienie składa się z wypukłej soczewki umieszczonej na szklanej płytce. Pomiedzy szklanymi powierzchniami znajduje się cienka warstwa powietrza o grubości wzrastającej stopniowo w miarę oddalania się od środka soczewki. Światło z umieszczonej w pobliżu lampy kierowane jest na szklaną płytkę i po odbiciu od niej pada prostopadłe na soczewkę. Dla uproszczenia założmy na początek, że lampa wysyła promieniowanie monochromatyczne, czyli że wszystkie emitowane przez nią fale mają identyczną częstotliwość, a więc również tą samą długość fali. Pierścienie Newtona można obserwować przez umieszczony nad układem mikroskop.



Rys. 4. Układ eksperymentalny do obserwacji pierścieni Newtona

Na poniższym rysunku, aby lepiej prześledzić bieg promieni, światło nie pada prostopadłe na soczewkę, lecz pod pewnym kątem. Część padających na soczewkę promieni ulega odbiciu od jej dolnej wewnętrznej powierzchni (p1), a część przedostaje się do warstwy powietrza i odbija się od szklanej płytki (p2), po czym przedostaje się ponownie do soczewki.



Rys. 5. Schemat interferencji prowadzących do powstania pierścieni Newtona

Promienie p1 i p2 ulegają interferencji i w zależności od ich przesunięcia w fazie może dojść do wzmocnienia, częściowego osłabienia lub całkowitego wygaszenia fali. Przesunięcie fal w fazie zależy od tego, jaką odległość przebędzie promień p2 w powietrzu. Oznaczamy przez x grubość warstwy powietrza oddzielającej soczewkę od szklanej płytki w punkcie M. Całkowite wygaszenie światła (czyli ciemny pierścień) nastąpi, gdy promienie p1 i p2 spotkają się w przeciwfazie (czyli przesunięte w fazie o nieparzystą wielokrotność 180°). Z uwagi na zmianę fazy fali świetlnej o 180° przy odbiciu od granicy powietrze-szkło (punkt N), warunek całkowitego wygaszenia zostanie spełniony, gdy na drogę $2x$ faza zmieni się o parzystą wielokrotność 180° . Stąd dostajemy warunek $2x = k \cdot \lambda$, skąd

$$x = k \frac{\lambda}{2},$$

gdzie k oznacza dowolną liczbę naturalną ($k = 0, 1, 2, 3$ itd.), a λ to długość fali padającego na układ światła. Przykładowo, $k = 0$ odpowiada grubości warstwy powietrza $x = 0$. Oznacza to, że w punkcie, w którym soczewka styka się z płytką, następuje całkowite wygaszenie światła i powstający w ten sposób środkowy prążek interferencyjny jest ciemny (rys. 6).

Jeśli do oświetlenia układu użyjemy lampy sodowej emitującej światło o długości fali w powietrzu $\lambda = 589,3 \text{ nm}$, to całkowite wygaszenie nastąpi w miejscach, w których grubość warstwy powietrza wynosi kolejno:

$$x_0 = 0 \cdot \frac{589,3}{2} = 0$$

$$x_1 = 1 \cdot \frac{589,3}{2} = 294,65 \text{ nm} \approx 0,29 \mu\text{m}$$

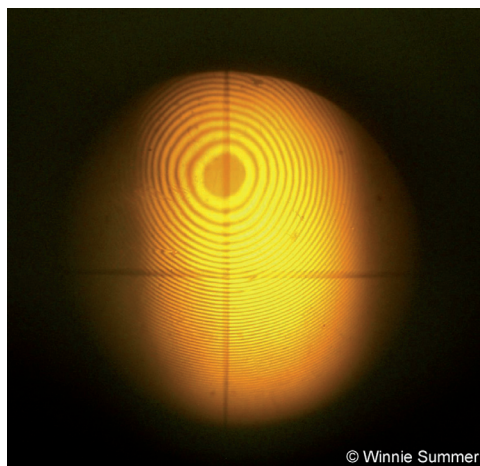
$$x_2 = 2 \cdot \frac{589,3}{2} = 589,3 \text{ nm} \approx 0,59 \mu\text{m}$$

$$x_3 = 3 \cdot \frac{589,3}{2} = 883,95 \text{ nm} \approx 0,88 \mu\text{m} \quad \text{itd.}$$



Jeśli szklana płytka jest całkowicie płaska, a soczewka ma idealnie równą powierzchnię i jest symetryczna, to warstwa powietrza w pewnej odległości od jej środka ma tę samą grubość na całym obwodzie soczewki. W takim wypadku obraz interferencyjny będzie się składał z naprzemiennych jasnych i ciemnych prążków w kształcie idealnych okręgów.

Niewielkie nierówności obydwu szklanych powierzchni powodują zniekształcenia prążków. Dzięki temu, obserwując pierścienie Newtona, można badać dokładność wykonania elementów optycznych.



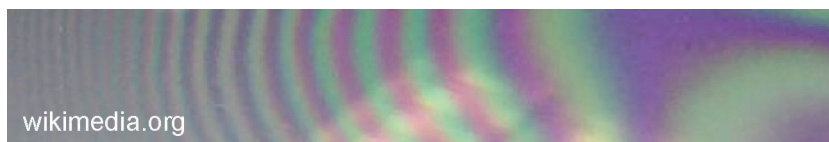
Rys. 6. Prążki Newtona. Zniekształcenia wynikają z nierówności szklanych powierzchni

Mierząc promień pierścieni Newtona można też bardzo precyzyjnie wyznaczyć promień zakrzywienia powierzchni soczewki.

Jeśli natomiast zna się dokładnie kształt obydwu stykających się powierzchni, to obserwacja prążków interferencyjnych może posłużyć do wyznaczenia długości fali padającego promieniowania. Umieszczając pomiędzy szklanymi powierzchniami krople różnych cieczy i mierząc promień pierścieni Newtona można też wyznaczyć współczynnik załamania światła badanych cieczy.

Pierścienie Newtona obserwuje się również oświetlając układ od spodu. W tym wypadku środkowy prążek jest jasny, a nie ciemny, jak w przypadku światła padającego na soczewkę od góry (rys. 1).

Jeśli padające światło nie jest monochromatyczne, lecz składa się z fal o różnych długościach, dla każdej z nich promienie pierścieni będą nieco inne. Układy prążków nakładają się na siebie i w rezultacie otrzymuje się obraz wielokolorowych pierścieni Newtona.



Rys. 7. Powiększenie wielokolorowych pierścieni Newtona

Więcej informacji o zjawisku interferencji światła można znaleźć w numerze 26 *Neutrino*.

KC